时序眼动分析中双眼视差的任务相关性：双眼协调

陈飞虎，赵广平

（闽南师范大学教育科学学院，漳州 363000）

概 述：为了保持主观视知觉的整体性和单一性，双眼在收集信息过程中需要得到精确的协调和统整。然而现有国内文献多以赫林法则为基础进行“单眼视觉”研究。自闭症儿童和对照组儿童在观看不同情绪视频时，眼动仪对其眼动进行了高精度记录。高精度数据中的不同噪音被针对性的滤除后，时间序列上双眼视差的变化情况清晰的呈现出来，形成时序眼动分析模式。分析结果表明：1) 双眼视差随着情绪面孔的不同而存在显著的差异，支持了赫尔姆霍兹假设，强调了双眼之间的协调；同时 2) 两类被试的双眼视差在所有的情绪面孔上均存在显著差异，进一步揭示了自闭症儿童的在感知特异性。

关键词：双眼协调，赫尔姆霍兹假设，眼动时序分析，滤波，自闭症谱系障碍

作　　者：陈飞虎，（1991-），男，湖北襄阳人。

通讯作者：赵广平，（1974-），男，博士，副教授。

作者单位：363000 漳州，闽南师范大学教育科学学院

Task-relevance of Binocular Disparityin temporal eye movement : Binocular Coordination

CHEN Fei-hu,ZHA0 Guang-ping

(School of Education Science，Minnan Normal University，Zhangzhou，Fujian36300，China)

Abstract: In order to maintain the integrity and singleness of the subjective visual world, both eyes need accurate coordination and integration in the process of collecting information. The domestic available literature, however, is mostly about “Single vision” , based on Hering’s law. When the children with Autism Spectrum Disorder and the control group were watching different emotional videos, the eye movements accurately recorded their Binocularity disparity. Different types noise in the accurate data are filtered out, Binocularity disparity are explicit revealed in the time series, which formed the pattern of temporal eye movement. The results show:1) Binocularity disparity varies significantly with emotional faces, supporting the Helmholtz’s hypothesis and emphasizing “Binocular coordination”;2) there were significant differences in Binocularity disparity on all emotional faces between the two groups, which further revealed the perceptual specificity of autistic children.

Key word: Binocular coordination; Helmholtz's hypothesis; Sequential analysis of eye movement; Wave filtering; Autism Spectrum Disorder(ASD)；

1. 前言

人有两只眼睛却感知到单一的、整体的世界。为了保持这种整体性，双眼需要得到精确的、系统的控制和协调，使中央凹可以大致对准同一个目标，这个过程就是双眼协调(Binocular Coordination)。它强调在形成主观的“单眼视觉”(Single vision)之前双眼之间存在的相互协作和调和(King，2011；Blythe et al.，2006；Kirkby et al.，2008；Yang Q，Kapoula Z.，2003)。衡量双眼协调性的量化指标是双眼视差(Binocularity disparity)：两只眼睛分别接收到的视像之间差异的大小。

然而国内的相关研究多建立在“单眼视觉”之上。“单眼视觉” 把双眼当作一个整体的器官来研究，认为双眼步调是完全一致，整齐划一的，双眼视线集中于一个点。视觉的研究方式也受到“单眼视觉”概念的限制。例如，视觉知觉研究中经常使用“中央眼”（Cyclopean Eye，即左右眼坐标的平均值），甚至某一单眼（左眼或者右眼）的数据。同时，EyeLink，Tobii，IView 等被普遍运用的眼动仪及配套软件的设计，也只考虑和提供了“单眼”相关的指标和数据处理程序（具体参见相关说明书）。同时，国内少有的关于双眼间视觉差异的文献中名称混乱不一，例如注视差异、视差、注视视差、注视偧差、注视点间距（陈飞虎， 陈顺森 & 赵广平，2016）等。

2.双眼协调

2.1 国内外相关研究

研究内容上，对“单眼视觉”的强调体现在：视觉的心理认知功能都集中在双眼视觉信息融合以后的高级加工过程，例如深度知觉、双眼竞争等。部分研究者们甚至，潜在的认为双眼视差是个体固有的、不变的生理属性。例如，王玲和王淮庆（2007）就强调双眼在头部分布的间距大小对双眼协调（双眼视差大小）起决定作用。

国外研究在很早之前就注意到并明确表明在视觉加工过程中双眼并非注视同一个点，即便是在单个的字符或者点上(Kirkby et al.，2008；Paterson et al.，2009；Kirkby et al.，2010)。其次，国外研究发现了双眼之间在眼跳—扫视—注视循环中相互协调的模式：注视点即将开始转换时（即扫视开始），一只眼睛(abducting eye，探索眼)用中央凹加工原注视点结束去搜寻下一个潜在的注视点，所以探索眼会先行跳离，另一只眼睛(adducting eye，追随眼)在一个小的时间间隔之后才会离开原注视点跟进(Collewijn et al.，1988；Vernet&Kapoula，2009)。所以眼跳

过程中双眼间距先增大，后来有一定程度的减小。当两只眼睛都到达下一个注视点时，双眼视差会经历一个先增加而后减小的过程(Vernet&Kapoula，2009；Yang &Kapoula，2003; Collewijn et al.，1988)。当收集到足够的信息之后，两只眼睛的行为模式又进入到下一个循环。

然而，国外现有研究中双眼间的协调是较小时间尺度上的实验室研究中，无法在大时间尺度的（半）自然状态下，进行深入的研究。例如针对不同任务双眼间的协调是否发生变化，以及怎样变化。这种变化不仅仅是生理层面的，也可能蕴含着心理意义。Kirkby 等人就在综述（2008）中强调，双眼协调的心理意义是未来需要加以确认和进行具体研究的内容。

2.2 “单眼视觉”以及研究方式的根源：赫林法则和赫尔姆霍兹假设

国内的研究局限在“单眼视觉”上，国外的研究局限在实验室中，深植这些困境之后的是，双眼之间关系的两大假设——赫林假设(Hering's hypothesis)与赫尔姆霍兹假设(Helmholtz’s hypothesis)——之间的争论。这个争论从 19 世纪开始一直延续到了现在。也正是因为赫林假设在早期争论中的胜利摇身一变成为赫林法则(Hering's law)，直接导致了现有研究中“单眼视觉”的统治地位。

赫尔姆霍兹假设由冯•赫尔姆霍兹在 1962 年提出(Helmholtz，1962)。该假设认为，两眼之间的联系不是一种强制性的解剖机制，而是仅仅通过意志就能影响和改变的，是可学的、可训练的。后来该假设受到了埃瓦尔德•赫林的挑战。他提出的赫林假设(Hering，1977)认为：“当考虑眼动对视觉的影响时，双眼可以被当作一个统一的器官（接受神经系统的）操作”，“就像一个人就可以牵动马两边的缰绳”。所以研究中常常将双眼假定为同一个器官、步调一致，即“单眼视觉”。

由于早期的研究仪器并不是那么精细，所以大多数研究支持赫林假设(King, Zhou，2000；King，2011)。这种支持直接导致该观点被普遍接受，从假设(hypothese)变成定律(law)--- 赫林的平等神经支配定律(Hering’s law of Equal Innervation)(Howard, Rogers, 1995)。

2.3 时间序列分析：（半）自然情境下的连续分析

由于受到“单眼视觉”概念的限制， 国内外双眼协调的研究模式都存在不足。国内主要通过人为控制给双眼分别呈现的两张图片的差异大小来控制双眼视差进行相关研究。这种模式存在生硬、被动，生态效度较低等问题。虽然，国外关于双眼协调的研究已经获得较全面发展，但是也只局限在实验室中。对于双眼协调的研究，只是在很小的时间尺度（通常是以 ms 为单位，总时长不超过 1000ms）上抽取个别眼动特征进行小的周期研究，眼跳-注视循环等。这种模式无法适应实验室外自然情境（或半自然情境），因为这些情况下眼动是大时间尺度上（1s

以上）的，持续不断的，前后影响的。

面对上述困境，眼动仪的自然性、双向性、动态和大时间尺度、持续、连贯特征便凸显出来。现有研究正是利用了这些优点，在动态的视频材料中寻求双眼视差的眼动量化指标——双眼注视点间距，即用两眼注视点之间的像素距离作为衡量双眼接收到视像差异的大小的指标(陈飞虎, 陈顺森 & 赵广平，2016；高世欢，陈顺森 & 林彩云，2017；李龙珠，2017)。同时，这些研究也并没有完全体现出双眼视差的动态性，即在完成任务的过程双眼视差在时间序列上的展开。

3.自闭症儿童双眼视差的特异性

在寻找自闭症的特异性特征过程中，国内的研究发现在动漫社交视频观赏中（不涉及深度知觉）自闭症谱系障碍(Autism Spectrum Disorder，ASD)的双眼注视点间距（即双眼视差）与正常儿童相比存在显著差异，该结论也一再被证实(陈飞虎, 陈顺森 & 赵广平，2016；高世欢，陈顺森 & 林彩云，2017；李龙珠，2017)。但是国内外现有的研究模式并不能推进进一步的研究工作，因为它们无法回答一下问题：个体在自然状态下的阅读、图片浏览或影视观看等平面材料（不涉及深度知觉）中双眼视差是怎么存在。如果双眼视差在持续的视知觉加工过程中是均匀存在，那么双眼视差是相对不变的，即双眼视差只是固定的生理特征；否则，双眼视差是可变的。如果是可变的，是完全随机的变化，还是根据特定原因发生相应的变化？如果是前者，那么双眼视差仍然具有生理意义特性，只是相对稳定，不是绝对不变。如果双眼视差根据特定原因发生相应变化，那么通过对这种关系的明确，双眼视差的心理意义也将被确定。

对眼动研究中自闭症儿童双眼视差特异性的进一步研究，就使用高精度仪器再次检验两大假设。同时，形成双眼协调的高灵活性、高生态效度、高主动性和大时间尺度的研究模式——眼动数据的时序分析。

实际问题中，ASD儿童双眼视差特异问题需要得到进一步澄清。理论上，由于国内研究者不清楚“单眼视觉”的历史渊源，而被限制。国外的双眼协调也只局限于实验室中。面对理论困境，发展出以眼动数据为基础的时序分析模式十分重要。

3.研究方法

3.1 数据收集

本研究数据来自陈飞虎等人（2016）的研究。实验设计：被试种类（ASD vs TD）*任务种类（不同情绪面孔「happy、sad 和 fear」）。各段视频以随机顺序呈现给被试，以平衡位置差异。数据产生：通过 Tobii 眼动仪记录自闭症谱系障碍

ASD 和正常(Typicallydeveloping，TD)儿童在观看动漫片段(截选自《运输汽车》, Golan et al.，2010)两眼坐标，求出两眼注视点之间的像素点距离，即双眼视差。

数据处理软件为 Matlab R2014a 和 SPSS 20 软件。

3.2 原始眼动数据的滤波分析

在完全体现出眼动仪在双眼视差的研究中的优势之前，还有一个需要解决的问题——眼动数据中的噪音。由于眼动具有高精度，所以很容易受到的影响。环境噪音、仪器状况、眨眼、头部扭动等都会导致数据中噪音(Munn et al., 2008)。这些噪音具有幅度大、突发性脉冲等特点。另一部分来自于眼动本身：微颤、漂移和震动。这些只有生理适应作用的眼动特征对于认知加工来说并不是必须的(Møller et al.，2006)，具有随机性、波幅小、频率高等特点。

首先，大波幅噪音的滤波。针对数据趋势中的异常值，选择限幅滤波予以剔除；然后用相邻数据点的中位数替代剔除之后的缺失值(Olsen A.，2012)。即如果某一时间点的数据值超过某一限度，该值被临近区域某一范围内数据的中位数替代。参考多次尝试性滤波的经验，150（单位：像素，后同）被选择作为限幅滤波中的幅度，采取 5 为步长。在这种情况下，数据的趋势展示的最清晰。图 1 为某个 TD 儿童在中值滤波前后的数据对比：噪音被去掉，同时数据的整体趋势更加明显，但是仍然存在部分噪音。图 2 所示，是两类被试限幅中值滤波前后的整体趋势图，可以发现：剔除噪音后，数据趋势更加清晰明显，同时数据范围明显减小（从 0～200 左右降低到 10～60 左右）。由于存在极其密集的细节性波动，故趋势不太明显。

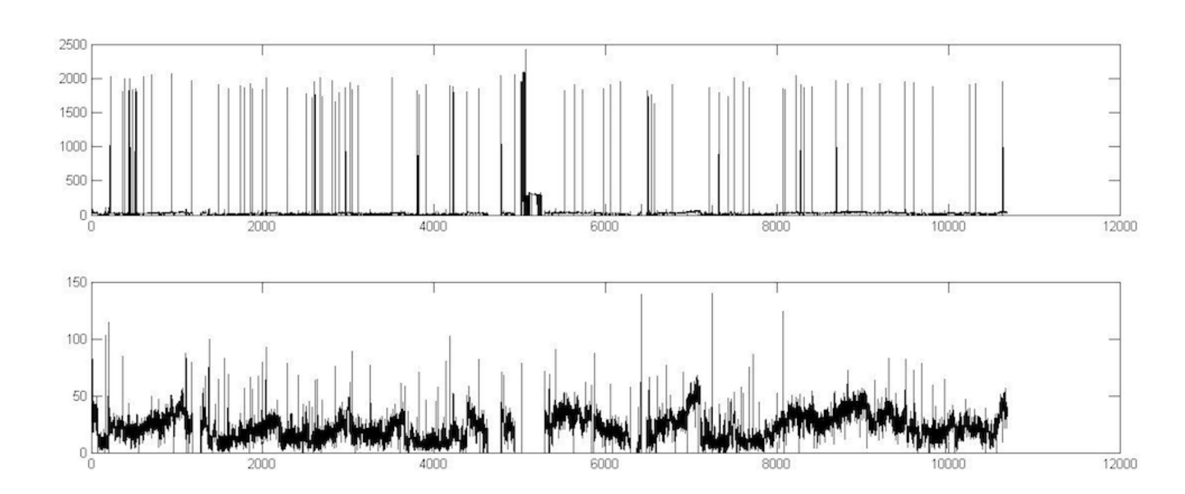


图 1 某个 TD 被试的滤波前后双眼视差数据（横坐标代表时间轴，一个单位为 1/60 秒（眼动仪的记录为 60HZ)，纵坐标为双眼视差，一个单位为一个像素，下同）。上图为滤波前，数据范围非常大（0～2500）。下图为滤波之后数据，范围较小（0～150）。滤波之后，数据的趋势更加明显。

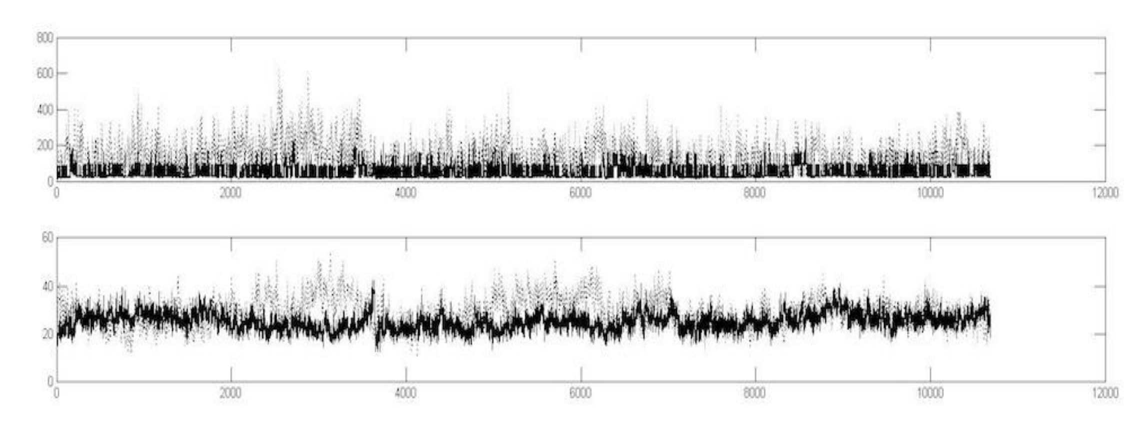


图 2 限幅中值滤波前后两类被试双眼视差总体趋势的比较（上图为滤波之前，下图为滤波之后；虚线为 ASD，实线为 TD，下同）。滤波之后的数据范围进一步减小，并且两类被试之间的异同趋势初步显现。滤波前后数据的整体趋势不变。

其次，随机噪音的滤波。对多个样本分析时，具有生理适应意义的眼动导致噪音因为叠加而被放大，掩盖了信号（如图 2 下图）。这些噪音大部分是随机的，故采用线性滤波中的均值滤波(Farmer, Sidorowich,1991)。均值滤波是用该值附近某一范围内数据的均数替代该值使得趋势更加平滑。由于没有具体可参考的滤波步数信息，依据数据收集的频次（60Hz）作为滤波步长，即以秒为单位来考察数据的趋势。如图 3、图 4 所示，滤波之后的数据趋势更加突出和清晰，并保留了趋势，使得时间序列上差异的具体信息十分清晰。

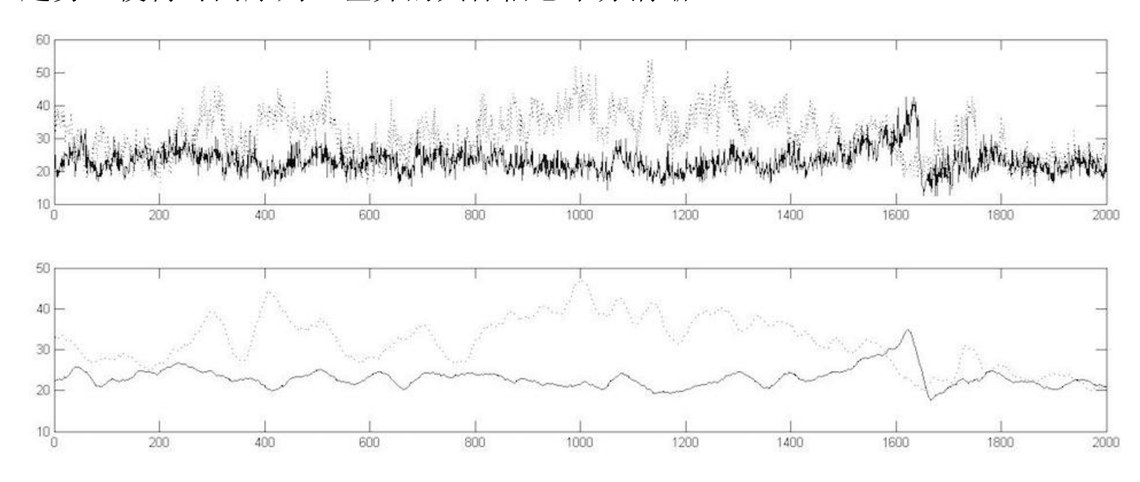


图 3　细节性滤波之后的两类被试双眼视差部分趋势图。可以明显的看到两类被试在时间序列上的趋势更加明显，两类被试的区别也更加分明。

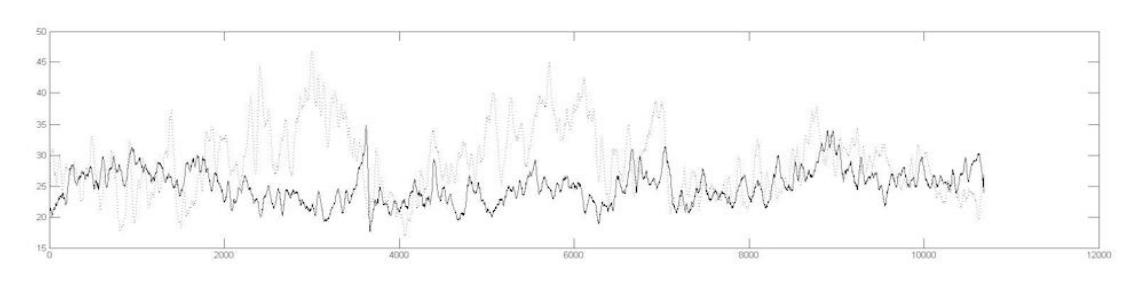


图 4　细节性滤波之后的两类被试双眼视差整体趋势图。

4 结果

4.1 滤波效果分析

陈飞虎等人（2016）发现 ASD 和 TD 儿童的双眼视差在多维尺度(Multidimensional Scaling，MDS)空间中存在显著的差异。本文中为了验证滤波的效果，分别将两次滤波之后的数据与原始数据对比。为了清晰的在二维平面展现滤波前后效果，同时满足 MDS 的各项指标，我们随机选取三段视频中的一段做比较。如图 5 所示，滤波前后各个阶段的两组被试数据的 MDS 二维分布合理（三个 MDS 分析的指标均合适:Stress<0.25,DAF>0.9）。从 a 到 c 两类被试的分界线越来越整齐、清晰。滤波之后两类被试的差异在原来的基础上有明显的提高。滤波效果良好。

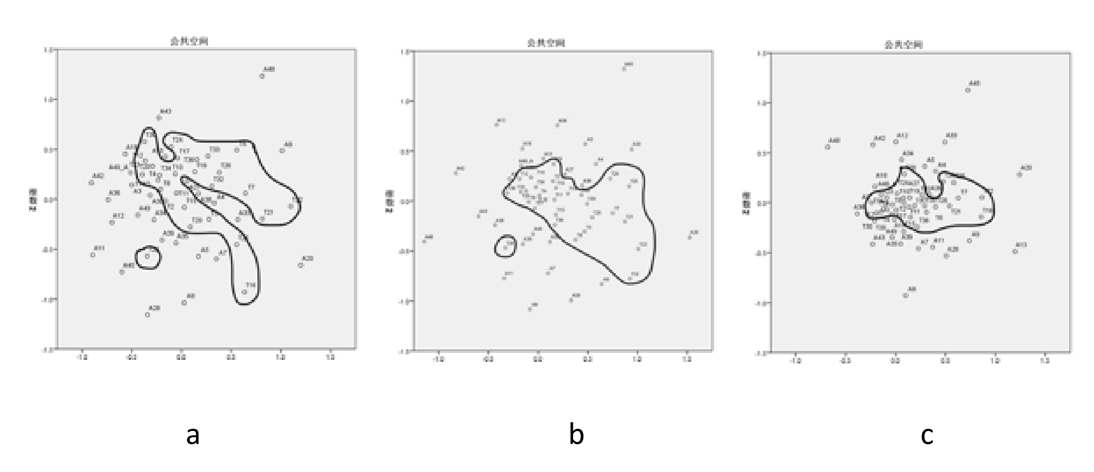


图 5 两类被试（字母为类别编码，数字为被试编号：T 为正常儿童被试，A 为自闭症儿童）在 MDS 二维平面的位置（从 a 到 c 依次为上原始数据、第一次滤波；第二次滤波之后的 MDS）。随着滤波的深入 ASD 个体与 TD 儿童的区分线越来越简洁：对两者的区分越来越明显，且 ASD 儿童越来越集中。

4.2 两类被试与三种情绪面孔的时间序分析和多因素方差分析

经过两次滤波，可以考察差异的具体性质。如图 4 所示，首先我们可以大致的发现总体上 ASD 相对于 TD 儿童双眼视差更大，并且波动性更大。同时也存在少部分交叉或大体一致的地方。

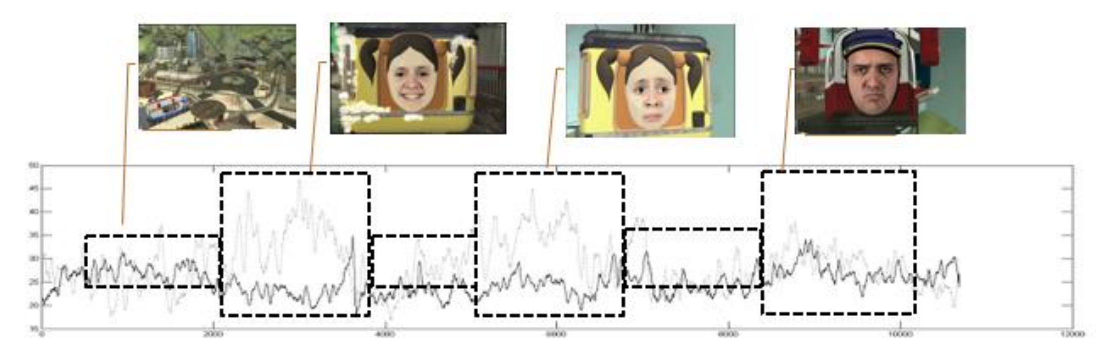


图 6 时间序列上两类被试的双眼视差与事件对应图

其次，ASD 和 TD 的双眼视差差异并不是均匀分布的。通过对事件的对比，

发现：1）屏幕呈现内容为场景时，ASD 与 TD 双眼视差趋势不相上下。甚至，ASD 的双眼视差在某些部分比 TD 儿童小（如图 6，长方形方框内的视频内容为物、背景、远距离侧脸，为了短片中故事情节的发展这些内容是必不可缺的）；2）当屏幕呈现不同情绪面孔时，两类被试的双眼视差呈现不同变化趋势。TD 儿童在 happy 面孔出现后，双眼视差相对之前减小,sad 面孔出之后，双眼视差相对于出现之前增加，而在 fear 面孔出现时，则显著增加，与 ASD 几乎接近； ASD 在不同情绪面孔出现时似乎表现的相对一致趋势，双眼视差都显著的增加。（如图 6，正方形方框视频内容为占据屏幕 80%以上的正面面孔。）；3）情绪面孔出现时，相对来说 ASD 的趋势波动起伏更大。

4.3 两类被试与三种情绪面孔的两因素方差分析

为了进一步验证双眼视差在时间序列上的描述性分析结论，从三段视频中抽出两类被试(TD & ASD)在对应的情绪面孔(happy, sad & fear)出现时段中双眼视差的数据（如图 6，正方形方框中的数据）进行量化分析。为了保持每段视频故事的完整性、便于理解，材料制作时各种情绪面孔呈现的时长并不完全相同。所以各种情绪面孔对应数据的数量稍有不同。两类被试在三种情绪面孔下双眼视差的平均数和标准差如表一所示。双因素方差分析的结果表明：被试类型的主效应显著，$F(1，4870)=5117.78$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.52$；情绪面孔种类的主效应显著，$F(2，4870)=367.65$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.13$；二者的交互作用也显著，$F(2，4870)=738.87$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.23$。

表一 两类被试在三种情绪面孔下的双眼视差（M±SD）

	happy（n=896）	sad（n=802）	fear（n=740）
TD	23.52±1.49[a]	25.23±1.20	27.38±3.50
ASD	31.68±4.24	35.96±3.40	29.09±4.74

a. 数据均经过四舍五入后，保留两位小数。

简单效应的分析表明，在 happy、sad 和 fear 三种情绪面孔上，ASD 儿童的双眼视差均显著大于 TD 儿童的双眼视差($p<0.01$)（如图 7 所示）。ASD 儿童在三种情绪面孔的观看中双眼视差之间存在显著差异，$p<0.01$。事后检验结果表明，ASD 儿童的双眼视差在 happy 上显著小于 fear($p<0.01$)，在 fear 上显著小于 sad($p<0.01$)；TD 儿童的双眼视差在 happy 上显著小 sad($p<0.01$)，在 sad 上显著小于 fear($p<0.01$)。即随着情绪由积极情绪、中性情绪向消极情绪转变(happy-sad-fear)，TD 儿童的双眼视差存在显著的增加，而 ASD 儿童的双眼视差

先显著增加后显著降低，并在 fear 上具有最小的值（如图 7）。

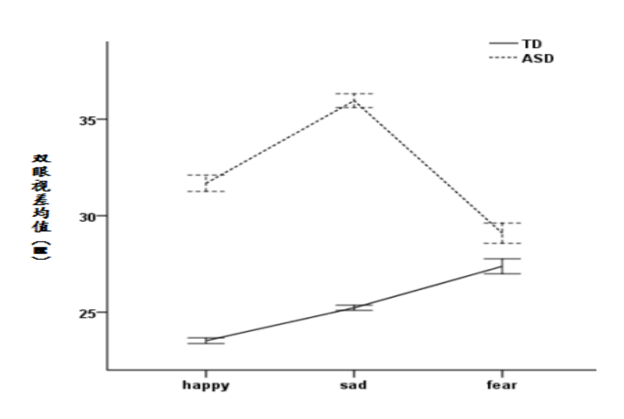


图 7 被试种类与情绪面孔种类的交互作用(±3 SE)

两组被试在三种情绪面孔下双眼视差的两因素方差分析与时序趋势的分析结果基本吻合。

5.讨论

5.1 时序上眼动数据的滤波分析：事件相关双眼视差(Event-related Binocular Disparity，ERBD)

通过引入信号处理中的滤波可以解决相关问题。本研究限幅中位数和均数滤波使得两类被试在时间序列上的趋势简化、明晰和突出（如图 3、4、5 所示）。滤波之后的 MDS 分析（如图 5），由原始数据、第一次滤波到第二次，随着滤波的深入 ASD 个体与 TD 儿童的区分线越来越简洁：对两者的区分越来越明显，效果较佳。两阶段滤波效果好。

实现双眼视差眼动数据的时间序列上的分析，对双眼协调的研究十分重要。

首先，双眼视差在时间序列上的变化才能体现出双眼在视觉加工的运动过程中的协调性能，即突出双眼协调概念中的“协调”。国内现有的与双眼协调相关的研究，都集中在双眼视差概念上，采取僵化的模式：人为的控制给双眼呈现图片的差异来研究，这个过程中强调了差异，而不是协调。

其次，对双眼视差在时间序列上的描述，我们可以更加清楚知道双眼视差是否变化，以及在什么时间变化（when，相对于 where）。只要对比事件发生前后双眼视差的变化趋势，就可以讨论具体事件对双眼协调的影响。图 6 中，我们不仅可以直观的发现整体上 ASD 儿童的双眼视差大于正常儿童(虚线在实线之上)，同时也可清晰的观察到事件发生前后双眼视差的变化。例如，高兴的面孔出现前两类被试差异不大；高兴面孔出现之后 ASD 儿童双眼视差突然程增大去世，而正常儿童双眼视差呈减小趋势；高兴面孔呈现过程中，两类被试的双眼视差也不是绝对不变的呈起伏波动状态，后续的研究甚至可以具体研究这种波动的具体原因；高兴面孔呈现之后，两类被试的双眼视差呈回归趋势。这种时序分析的研究

方式将弥补现有眼动研究中空间信息（where）的分析不足(Falck-Ytter，2010)。我们也希望时间序列上的眼动分析，可以像事件相关电位一样成为一个研究方法—事件相关眼动。事件相关眼动的相关信息表明了大脑的初级加工，而事件相关电位更多倾向于高级加工，经过恰当的设计和对比，我们可以使得从低级加工到高级加工的黑匣子投进一丝光。

最后，这种时序分析模式允许多样性的实验材料，极大的提高了生态效度，拓展了未来的研究方向。本文对动漫视屏材料进行连贯的分析正是这种模式的优势之处。现有眼动研究的注视点分析模式，只能进行静态的分析，实验材料也仅限于图片，在这种静态的分析模式下，即便实验材料是视屏也需要将其还原成图片进行一帧一帧(Frame-by-frame analysis)的静态分析。时序分析模式不仅在视屏等材料的分析上具有独特的优势，在图片和阅读等研究中同样适用。例如，探究对同一个刺激在不同时间点的加工，这是以前的研究模式无法实现的。时序分析模式不论是对原有静态图片或阅读研究的拓展，还是在实验材料上的拓展，都极大的提高了研究的生态效度(Ecological Validity)。

5.2 对于赫尔姆霍兹假设的强调

赫尔姆霍兹假设已经被一些双眼协调的发展性和康复训练研究间接的支持。这些研究表明，双眼协调似乎是由视觉经验驱动的，并且基于神经可塑性 / 成熟。

尽管如此，赫尔姆霍兹假设仍然缺乏更加直接的支持（King，2011；Coubard，2015）。本研究在采用了不同的实验材料（动态的社交视频）和数据分析方式之后发现（如，图 6），两组被试在观看动漫视频的过程中双眼视差随任务的变化（物的场景与面孔的场景；不同情绪面孔场景之间）而变化，相对来说，三种情绪难度不同（Gross，1991），从高兴（happy）、悲伤（sad）到恐惧（fear）识别率显著下降（马伟娜等，2015 ；Golan et al.，2010），即任务难度影响了双眼视差。图 6 中，正常儿童也是随着情绪消极性的加大，而双眼视差渐增。

5.3ASD 双眼协调在情绪面孔加工中的特异性

林云强, 张福娟(2010)在其自编制《自闭症儿童功能领域发展情况调查问卷》中把知觉特异性作为一个维度，其他研究(陈飞虎, 陈顺森&赵广平，2016；高世欢，陈顺森&林彩云，2017；李龙珠，2017)也有类似的发现。然而，这些研究都没有进一步研究：在情绪面孔的加工中双眼协调具有更加显著的特异性。一是在三中情绪面孔上，ASD 儿童的双眼视差均显著大于 TD 儿童，同时 ASD 的变异性更大。二是 TD 儿童随着情绪的消极程度增加，双眼视差显著增加，而 ASD 儿童先显著增加而后显著降低，在恐惧情绪上有最小值。

6.结论

1）限幅中值滤波和均值滤波可以较好的消除眼动数据中影像分析结果的噪音，同时让时间序列上的双眼视差趋势更加直观、明显；

2）在观看社交情景视频中，双眼视差在时间序列上会随任务难度变化，间接说明个体的意志可以控制双眼视差的变化，直接证明了赫尔姆霍兹假说。

文献参考：

陈飞虎, 陈顺森, &赵广平. (2016). ASD 儿童看动漫时注视点间距的筛查敏感性. *闽南师范大学学报(自然版),29*(4), 101-106.

高世欢, 陈顺森, &林彩云. (2017). ASD 儿童平滑追踪任务中注视点间距的筛查价值. *闽南师范大学学报(自然科学版),30*(3), 123-128.

李龙珠. (2017). *自闭症谱系障碍儿童场景加工时双眼注视点间距的鉴别价值*.闽南师范大学.

王玲, &王淮庆. (2007). 儿童双眼视觉三级功能研究现状与进展. *国际眼科杂志,7*(3), 796-798.

林云强, 张福娟. 自闭症儿童依恋及其与功能领域关系的研究[J]. 应用心理学, 2010, 16(2):126-133.

马伟娜, 朱蓓蓓, 谢宇. 孤独症儿童面部表情识别能力的眼动研究[J]. 应用心理学, 2015, 21(1):76-88.

Blythe, H. I., Liversedge, S. P., Joseph, H. S., White, S. J., Findlay, J. M., & Rayner, K. (2006). The binocular coordination of eye movements during reading in children and adults. *Vision Research,46*(22), 3898.

Coubard, O. A. (2015). [how does the brain control eye movements? motor and premotor neurons of the brainstem.]. *Rev Neurol,171*(4), 341.

Collewijn, H., Erkelens, C. J., & Steinman, R. M. (1988). Binocular co-ordination of human horizontal saccadic eye movements. *Journal of Physiology,404*(1), 157-182.

Fioravanti, F., Inchingolo, P., Pensiero, S., &Spanio, M. (1995). Saccadic eye movement conjugation in children. *Vision Research,35*(23-24), 3217.

Farmer, J. D., & Sidorowich, J. J. (1991). Optimal shadowing and noise reduction. *Physica D Nonlinear Phenomena,47*(3), 373-392.

Falck-Ytter, T., Fernell, E., Gillberg, C., & Von, H. C. (2010). Face scanning distinguishes social from communication impairments in autism. *Developmental Science,13*(6), 864-875.

Golan, O., Ashwin, E., Granader, Y., Mcclintock, S., Day, K., & Leggett, V., et al. (2010).

Enhancing emotion recognition in children with autism spectrum conditions: an intervention using animated vehicles with real emotional faces. *J Autism Dev Disord, 40*(3), 269-279.

Gross, A. L., & Ballif, B. (1991). Children's understanding of emotion from facial expressions and situations: a review. *Developmental Review, 11*(4), 368-398.

Howard, I. P., & Rogers, B. J. (1995). Binocular vision and stereopsis.Oxford University Press.736 -737.

Helmholtz.(1962).*H.Helmholtz'sTreatise on Physiological Optics*.Dover, New York.733-734.

Hering, E.(1977). T*he Theory of Binocular Vision*. Plenum Press, New York.

King, W. M., & Zhou, W. (2000). New ideas about binocular coordination of eye movements: is there a chameleon in the primate family tree?.*Anatomical Record Advances in Integrative Anatomy & Evolutionary Biology,261*(4), 153.

King, W. M. (2011). Binocular coordination of eye movements--hering's law of equal innervation or uniocular control?.*European Journal of Neuroscience,33*(11), 2139-46.

Kirkby, J. A., Lad, W., Blythe, H. I., &Liversedge, S. P. (2008). Binocular coordination during reading and non-reading tasks. *Psychological Bulletin,134*(5), 742-763.

Kirkby, J. A., Blythe, H. I., Benson, V., &Liversedge, S. P. (2010). Binocular coordination during scanning of simple dot stimuli. *Vision Research,50*(2), 171.

Munn, S. M., Stefano, L., &Pelz, J. B. (2008). Fixation-identification in dynamic scenes: comparing an automated algorithm to manual coding. *Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization* (pp.33-42). ACM.

Møller, F., Laursen, M. L., &Sjølie, A. K. (2006). The contribution of microsaccades and drifts in the maintenance of binocular steady fixation. *Graefes Archive for Clinical & Experimental Ophthalmology,244*(4), 465-71.

Olsen A.(2012).The Tobii I-VT Fixation Filter [M]. Tobii Technology.

Paterson K B, Jordan T R, Kurtev S. Binocular fixation disparity in single word displays[J]. Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performan, 2009, 35(6):1961.

Vernet, M., &Kapoula, Z. (2009). Binocular motor coordination during saccades and fixations while reading: a magnitude and time analysis. *Journal of Vision,9*(7), 2.

Yang, Q., & Kapoula, Z. (2003). Binocular coordination of saccades at far and at near in children and in adults. *J Vis,3*(8), 554-61.